

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-195054

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl. G06F 17/50
G01B 21/20
G06F 17/00

(21)Application number : 10-000802

(71)Applicant : TORAY IND INC

(22)Date of filing : 06.01.1998

(72)Inventor : YAMADA TAKAMITSU

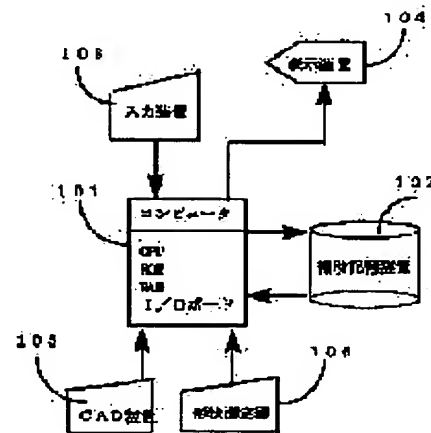
(54) METHOD AND DEVICE FOR DISPLAYING DEFORMATION EXTENT OF ARTICLE SHAPE, MANUFACTURE OF MOLDING, AND STORAGE MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To display the deformation degree of a shape locally at an arbitrary place of an arbitrary shape by calculating differences in angle between adjacent patches of calculation models before and after deformation and displaying the deformation degree of the article.

SOLUTION: The surface part of the shape are divided into fine elements to generate the calculation model before deformation, which is stored in an auxiliary storage device. A computer 101 reads the calculation model before deformation in an internal RAM and calculates and stores the angle between adjacent patches of the calculation model before deformation in the auxiliary storage device. The calculation model before deformation and injection molding conditions are analyzed to calculate and stores the calculation model after deformation in the auxiliary storage device 102.

The calculation model after deformation is used to calculate an angle between adjacent patches, which is stored in the auxiliary storage device 102. The angles between adjacent patches of the calculation models before and after deformation are read in the internal RAM from the auxiliary storage device to calculate the differences in the angle between the adjacent patches. The differences in the angle between the adjacent patches are displayed on a display device 104.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平 11-195054

(43)公開日 平成11年(1999)7月21日

(51)Int. Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 6 F 17/50

G 0 6 F 15/60 6 1 2 C

G 0 1 B 21/20

G 0 1 B 21/20 Z

G 0 6 F 17/00

G 0 6 F 15/20 D

15/60 6 1 2 H

6 8 0 D

審査請求 未請求 請求項の数 1 1 O L

(全 1 6 頁)

(21)出願番号 特願平10-802

(71)出願人 000003159

東レ株式会社

(22)出願日 平成10年(1998)1月6日

東京都中央区日本橋室町2丁目2番1号

(72)発明者 山田 高光

滋賀県大津市園山1丁目1番1号 東レ株式会社滋賀事業場内

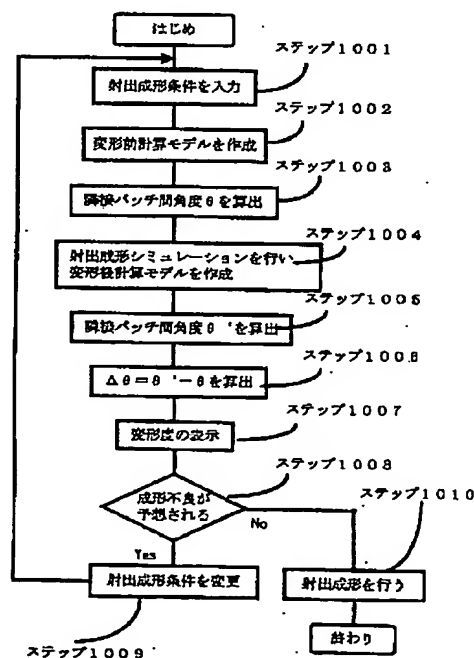
(54)【発明の名称】物品形状の変形度の表示方法、表示装置、成形品の製造方法、記憶媒体

(57)【要約】

【目的】入手による作業を極力なくし、任意の物品形状において、表面の変形度を簡易かつ精度良く表示する方法を提供すること。

【構成】本発明では、物品の変形前の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割した変形前計算モデルを作成し、前記物品の変形を数値シミュレーションにより算出して、変形後の計算モデルを作成し、変形前後の計算モデルにおいて隣接パッチ間角度の差分値を算出し、その差分値に基づいて該物品の変形度を表示する。

図2



【特許請求の範囲】

【請求項1】物品の変形前の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割し変形前計算モデルを作成する工程と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、前記物品の変形を数値シミュレーションにより算出して変形後計算モデルを求める工程と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、該変形前計算モデルと該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度の差分値を算出する工程と、その差分値に基づいて前記物品の変形度を表示する工程とを有することを特徴とする物品の変形度の表示方法。

【請求項2】前記変形前計算モデルは、コンピュータ端末からの形状定義ソフトウェアを利用して物品形状を作成したデータ、CADで形状定義されたデータおよび形状測定器から測定された物品形状の点群に基づいて作成したデータのいずれかに基づいて求められたものであることを特徴とする請求項1または2に記載の表示方法。

【請求項3】前記変形前計算モデルは、前記形状測定器から測定された物品形状の点群に基づいて作成されたものであって、前記形状測定器は、三次元測定器、真直度測定器、真円度測定器、平面度測定器、円筒測定器、表面あらさ測定器、輪郭形状測定器、スキャナおよびCTスキャンのいずれかであることを特徴とする物品の変形度の表示方法。

【請求項4】前記数値シミュレーションは、有限要素法、差分法、境界要素法、有限体積法のいずれかによりなされることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の物品の変形度の表示方法。

【請求項5】前記隣接パッチ間角度を算出する工程は、隣接する表面パッチにおけるそれらの法線ベクトルがなす角度より求めることを特徴とする請求項1～4のいずれかに記載の物品の変形度の表示方法。

【請求項6】前記表示は、指定領域を色塗り、陰影付けおよび面塗り、等高線、等値線、グラフならびに鳥瞰図のいずれか1つ以上であることを特徴とする請求項1～5いずれかに記載の物品の変形度の表示方法。

【請求項7】物品の変形度を表示する工程において、最も大きい変形度の位置を指示することを特徴とする請求項1または2のいずれかに記載の物品の変形度の表示方法。

【請求項8】成形品の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割し変形前計算モデルを求める工程と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、成形シミュレーションにより変形後計算モデルを算出する工程と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、該変形前計算モデルと該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度差分値を算出する工程と、その差分値に基づく変形度を表示する工程とを有することを特徴とする成形品の変形度の表示方法。

【請求項9】物品の変形前の形状の少なくとも表面部分

を微小な要素に分割し変形前計算モデルを作成する手段と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する手段と、前記物品の変形を数値シミュレーションにより算出して変形後計算モデルを求める手段と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する手段と、該変形前計算モデルと前記変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度の差分値を算出する手段と、その差分値に基づいて物品の変形度を表示する手段を有することを特徴とする物品の変形度の表示装置。

10 【請求項10】成形品の成形加工条件を定め、該成形品の少なくとも表面部分を多数の微小要素に分割した変形前計算モデルを作成し、成形シミュレーションに基づいて変形後計算モデルを作成し、隣接パッチ間角度差を求め、得られた隣接パッチ間角度差から該成形品の変形度の分布を求め、得られた該変形度の分布に基づいて、成形条件を最終決定し該最終決定された該成形加工条件に基づいて成形品を製造することを特徴とする成形品の製造方法。

20 【請求項11】請求項1～8に記載された物品の変形度の表示方法の各手順をコンピュータを用いて実施できるようにコンピュータを動作させるソフトウェアを記憶した記憶媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、物品形状の変形度の表示方法、表示装置、成形品の製造方法および記憶媒体に関する。

【0002】

30 【従来の技術】近年、プラスチック射出成形品が自動車部品・家電製品等多用され、また、高品質が要求されている状況において成形品の寸法精度や外観良否の評価技術は非常に重要な問題である。たとえば、図13に示す射出成形品において、成形条件によってはリブ付け根部1面にヒケ2と呼ばれるくぼみ現象が発生する。その原因としては、冷却速度の不均一によるところが大きい。リブ付け根部のような厚肉部内部では、冷却が表面部3に比べて遅いため、表面部3が固化しても、まだ温度が高い状態であることが多い。そのため、中心部付近が冷却して固化するときに、熱収縮によって表面部3を引っ張るため、ヒケが発生するとされている。そのくぼみ量のオーダーは一般的に数 μm から数十 μm と非常に小さなものである（以下本発明において、物品に発生したくぼみ部およびくぼみ量を凹部および凹値、反対に物品に発生したふくらみ部およびふくらみ量は凸部および凸値と呼ぶ。）が、射出成形品は外装部品として用いられる場合が多く、たとえ寸法の狂いのものが小さいとしても、その小さな凹部が製品表面の光沢性を損なわせるため、製品としての価値を低下させる場合が多い。その改善策として、設計者はできるだけ、凹部が発生しないような形状の設計を行い、また成形現場では成形条件の変

更によって、凹値低減を試みている。

【0003】また、発生した凹値を高精度に測定することは不良現象を評価する上で重要な技術であり、特開平 5-45153 号公報で樹脂成形品の凹値測定方法が提案されている。この方法では、樹脂成形品の被測定面が測定手段に対し、被直交状態に傾いて対向した場合においても、簡単な構成により凹値を正確に測定できる。しかし、複雑な自由曲面上に発生した凹値を測定する場合にはこの測定方法では容易ではない。また、コネクタ等の小型電子部品のように、成形品にリブが非常に多く使用されている成形品においては、凹部も随所に発生するため、一つの成形品の凹値を測定するために、測定手段に対して何度も位置替えをする必要があるため、多大に労力を要する。

【0004】また、一方、近年においてプラスチック射出成形品等の製品開発において高品質化、効率化、低コスト化の目的のため、射出成形 CAE (Computer Aided Engineering) が積極的に利用されている。その中でも、特に三次元の解析を可能としたものとして、特開平 8-99341 号公報に記載の方法がある。

【0005】この方法の特徴は、これまで三次元形状である成形品を 2 次元の板要素で作る近似モデルで解析するのではなく、少なくとも一部について三次元の固体要素で計算モデルを作成することにある。従来の射出成形 CAE では板要素にしか対応していないため、図 13 のような成形品を板要素でモデル化する場合、図 14 のような板要素 6 を組み合わせた形状の 2 次元モデルにならざるをえなかった。そのため、このモデルではリブ付け根部の状態を正確に再現できないため、厚肉部の影響によって発生する凹部を定量的にシミュレーションすることが出来なかった。しかし、上記公報の発明では、図 15 の 3 次元要素 7 でモデル 16 のようにモデル化するために厚肉部での形状誤差が低減できるため、厚肉部を有する成形品に対しても高精度にシミュレーションができるようになった。

【0006】以下に、上記公報の発明によって 3 次元モデルを用いて、射出成形シミュレーションから凹部および凹値を解析するまでの手順について簡単に説明する。まず、入力条件として、成形品形状の計算モデルと、射出成形条件（例えば、成形温度、射出樹脂温度、射出時間、保圧圧力、保圧時間、冷却時間等）、樹脂特性値（例えば、粘度、P-V-T 特性、比熱、熱伝導率、ヤング率等）が必要となる。計算モデルは図 16 に示すような 1 次元要素である棒要素 4、2 次元要素であれば 3 角要素 5、4 角要素 6、3 次元要素であれば六面体 7 や四面体 8 などの三次元的な微小要素に分割されたモデルである。また、要素の頂点は節点 9 と呼ばれ、各頂点は X, Y, Z の座標値を有している。

【0007】そして、射出成形過程の各工程（射出、保圧、冷却、離型）をコンピュータ上で再現していく。射

出工程とは、溶融樹脂を金型内に射出する工程、保圧工程とは、金型内で冷却され収縮し始めている成形品に対して、収縮分を補填する工程、離型工程とは、冷却工程が完了後、成形品が型から離され、成形品全体が室温にまで下がるまでの工程である。離型工程の結果出力としては、熱変形による各節点の X, Y, Z 方向への移動量（以下では、この移動量を変位量と呼ぶ。）が得られ、この移動量を変形前計算モデルに付加して変形後計算モデルが得られる。そのため、この変形後計算モデルには、熱収縮以外に他の成形不良現象も再現されている。例えば、成形不良現象として代表的な、そり変形および凹部等である。しかし、熱収縮のオーダーはたとえば数 mm、そり変形のオーダーは 0.1 mm ～ 数 mm、凹部のオーダーは数 μ m ～ 数十 μ m のため、変形後計算モデルをグラフィックス表示しても最もオーダー的に小さい凹部のみを分離して表示することはできないので、凹部発生位置を特定するのは非常に困難である。通常、射出成形条件によって凹部発生位置は変わってしまうため、凹部発生位置をシミュレーションの事前に予測することは困難であり、そのため、変形後計算モデルの随所に発生した凹部発生位置をユーザーが一つずつ特定するには非常に労力を有する作業になる。また、別の問題点として、凹部の発生場所が特定されたとしても、各節点の変位量から凹値を算出する作業が必要となるが、通常は難しい作業である。その理由として、凹値を評価するには成形品の各面に対して垂直方向のくぼみ量を求める必要があるが、面が X, Y, Z 軸に対して平行あるいは垂直であれば節点の移動量から算出する方法は容易であるが、図 17 にしめすように面が斜面 10 や、自由曲面 11 の場合は面に垂直方向の X, Y, Z 成分を抽出する必要があるため、非常に難しい作業となる。

【0008】従来の技術として、変形後計算モデルから凹値を評価する方法としては、特開平 9-5068 号公報で提案されている方法がある。この方法によれば、変形後計算モデルから凹部が発生している面を構成している複数の節点を取り出し、これより最小二乗法にて回帰面を作成して回帰面からの変位量を求めるものである。

しかし、この方法では、変形前計算モデルの各面ごとにその面を構成している節点を取り出す必要があるが、凹部が発生しているかどうかの判断が自動的に出来ないため、どの面の節点を抽出するかをユーザーが指定するかあるいは全ての面を自動的にに行わせる必要がある。また、最小二乗法で、回帰モデルを作る場合は、ある目的関数を必要とする。例えば、変形前モデルのある面が平面であった場合は、その面の目的関数も平面となり、また別の位置の面形状が複雑な自由曲面であった場合、その面の目的関数はその複雑な自由曲面の式でなければならないため、回帰面を算出するためのアルゴリズムが非常に複雑になる。このように、各面によって異なる目的関数を用いて一面ごとに評価するため、計算方法は複

雑、かつ計算時間を非常に要し、結果を同時に表示することが困難であった。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】本発明の目的は、このような従来の問題点を鑑みてなされたものであって、入手による作業を極力なくし、任意の物品形状において、表面の変形度を簡易かつ精度良く表示する方法を提供することにある。

【0010】また、本発明の別の目的は、形状測定器を有効に利用して物品の変形度を表示する方法および表示装置を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、物品の変形前の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割し変形前計算モデルを作成する工程と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、数値シミュレーションにより算出して変形後計算モデルを求める工程と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、該変形前計算モデルと該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度差分値を算出する工程とその差分値に基づいて前記物品の変形度を表示する工程を有することを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。

【0012】また、本発明の好ましい態様によれば、前記変形前計算モデルとは、コンピュータ端末からの形状定義ソフトウェアを利用して物品形状を作成したデータ、CADで形状定義されたデータおよび形状測定器から測定された物品形状の点群に基づいて作成したデータのいずれかであることを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。また、本発明の好ましい態様によれば、前記変形前計算モデルは、前記形状測定器から測定された物品形状の点群に基づいて作成されたものであって、前記形状測定器は、三次元測定器、真直度測定器、真円度測定器、平面度測定器、円筒度測定器、表面あらさ測定器、輪郭形状測定器、スキャナおよびCTスキャンのいずれかであることを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。

【0013】また、本発明の好ましい態様によれば、前記数値シミュレーションは、有限要素法、差分法、境界要素法、有限体積法のいずれかによりなされることを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。

【0014】また、本発明の好ましい態様によれば、前記隣接パッチ間角度は、近傍する2つの表面パッチにおける法線ベクトルがなす角度であることを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。

【0015】また、本発明の好ましい態様によれば、前記表示は、指定領域を色塗り、陰影付け、面塗り、等高線、等値面、グラフおよび鳥瞰図のいずれか1つ以上であることを特徴とする物品の変形度の表示方法が提供される。

【0016】また、本発明の好ましい態様によれば、物品の変形度を表示する工程において、最も大きい変形度の位置を矢印で示す表示方法が提供される。

【0017】また、本発明の好ましい態様によれば、成形品の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割し変形前計算モデルを求める工程と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、成形シミュレーションにより変形後計算モデルを算出する工程と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する工程と、該変形前計算モデルと該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度差分値を算出する工程と、隣接パッチ間角度差分値に基づいて成形品の変形度を表示する工程を有することを特徴とする成形品の変形度の表示方法が提供される。

【0018】また、本発明の好ましい態様によれば、物品の変形前の形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割し変形前計算モデルを作成する手段と、該変形前計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する手段と、数値シミュレーションにより算出して変形後計算モデルを求める手段と、該変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度を算出する手段と、該変形前計算モデルと前記変形後計算モデルの各部の隣接パッチ間角度の差分値を算出する手段と、その差分値に基づいて前記物品の変形度を表示する手段を有することを特徴とする物品の変形度の表示装置が提供される。

【0019】また、本発明の好ましい態様によれば、成形品の成形条件を定め、該成形品の少なくとも表面部分を多数の微小要素に分割した変形前計算モデルを作成し、成形シミュレーションに基づいて変形後計算モデルを作成し、隣接パッチ間角度差を求め、得られた隣接パッチ間角度差から該成形品の変形度の分布を求め、得られた該変形度の分布に基づいて、成形条件を最終決定し該最終決定された該成形条件に基づいて成形品を製造することを特徴とする成形品の製造方法が提供される。

【0020】また、本発明の好ましい態様によれば、前記に記載された物品の変形度の表示方法の各手順をコンピュータを用いて実施できるようにコンピュータを動作させるソフトウェアを記憶した記憶媒体が提供される。

【0021】ここで、形状定義ソフトウェアの例として、SDRC社製のI-DEAS Master Seriesがある（以下では、I-DEASと呼ぶ）。CADの例としては、PTC社製のPro-Eがある。

【0022】ここで、変形度とは、隣接パッチ間の角度の差分値そのものあるいはその差分値に基づいて算出されたものであり、例えば曲率変化、凹値、凸値、表面あらさ、あるいは、仮想面を定めて求められる真直度・平面度・真円度・円筒度などが考えられる。

【0023】ここで、形状生成ソフトウェアは、点群から面情報を計算し物品形状を生成することを特徴とするもので、例えばラップ（アイティーティー社製、以下ラ

ップと呼ぶ)がある。ラップは、ランダムな点群から正確な面情報を計算し立体形状を自動生成するソフトウェアであり、入力データとする点群は、3次元測定器、レーザー、CCDなどを用いた3次元スキャナ、X線CT、レーダ、CADデータのごとく、3次元のデータ構造を持っているものであれば良い。

【0024】ここで、形状測定器の例として、例えば三鷹光器製の非接触式三次元測定装置NH-3がある。この装置は、レーザーサーボ式オートフォーカス顕微鏡と高精度自動XYステージにより、あらゆるワーク形状をサブミクロンの精度で測定できる。測定機能として、(1)断面形状/三次元形状測定(2)表面粗さ測定(3)三次元自動寸法測定等がある。

【0025】ここで、成形品とはプラスチック・ガラス等の非鉄金属や金属からなり、初期の形状から何らかの工程を経て、所望の形状を得たものを指し、例えばプラスチックであれば、射出成形、押出成形、ブロー成形等により製造されるものなどである。ガラスでは、例えばプレス成形品があり、金属では鋳造品などが該当する。

【0026】

【発明の実施の形態】以下に、本発明による物品の変形度の表示方法および表示装置の一例である、射出成形品の変形度の表示方法、表示装置の好ましい態様の例を図面を参照しながら詳細に説明する。また、射出成形品の製造方法の好ましい態様の例を合わせて説明する。

【0027】図1は、本発明の射出成形品の変形度の表示装置のハードウェア構成例を示す図である。コンピュータ101に入力装置103、表示装置104および補助記憶装置102、CAD装置105、形状測定器106が接続されている。入力装置103により、例えば解析する射出成形品の射出成形条件と3次元的な形状の入力が受け付けられ、こうしたデータは補助記憶装置102に格納される。

【0028】次に、オペレータの指示により形状の少なくとも表面部分を微小な要素に分割して変形前計算モデルを作成し、補助記憶装置に格納する。次に、オペレータの指示により、コンピュータ101がその変形前計算モデルを内部のRAM(ランダムアクセス可能な揮発性メモリ)に読み込み、変形前計算モデルにおける隣接パッチ間角度を算出し、補助記憶装置に格納する。次に、オペレータの指示により、コンピュータ101が変形前計算モデルと射出成形条件を内部のRAMに読み込み、解析を行い、変形後計算モデルを算出し、その変形後計算モデルは補助記憶装置102に格納される。次に、コンピュータ101が補助記憶装置から変形後計算モデルを読み込み、その変形後計算モデルにおいて隣接パッチ間角度を算出し、その結果を補助記憶装置102に格納する。次に、コンピュータ101が変形前計算モデルにおける隣接パッチ間角度と変形後計算モデルにおける隣接パッチ間角度を補助記憶装置から内部のRAMに読み

込み、隣接パッチ間角度差分値を算出する。隣接パッチ間角度差分値は表示装置104により、表示される。必要に応じて、オペレータが射出成形条件を変更し再び解析を行うことができる。また、隣接パッチ間角度差分値の出力は別途用意したプリンタ装置に対して行っても良く、補助記憶装置102に格納しても良い。

【0029】図2は、本発明の射出成形シミュレーションによる凹部の表示方法および凹部表示装置と、それに基づいて決定した射出成形条件による射出成形品の製造方法における手順の例を示したフローチャートである。

【0030】射出成形過程の解析では、はじめに、射出成形品の射出成形条件(たとえば射出成形品の形状、成形型形状、材料射出速度、材料温度、成形型温度、あるいは射出成形材料、保圧圧力、冷却時間など)を入力する(ステップ1001)。次に、入力装置103により3次元的な形状を作成し、少なくとも表面部分を微小な要素に分割し、変形前計算モデルを作成する(ステップ1002)。次に、変形前計算モデルの隣接パッチ間角度 θ を求める(ステップ1003)。

【0031】次に、射出成形シミュレーションを行い、変形後計算モデルを作成する(ステップ1004)。次に、変形後計算モデルにおいて隣接パッチ間角度 θ' を求める(ステップ1005)。次に、変形前計算モデルと変形後計算モデルとにおいて算出された各部の隣接パッチ間角度の差分値 $\Delta\theta = \theta' - \theta$ を求める(ステップ1006)。次に、 $\Delta\theta$ または他の変形度を算出して表示する(ステップ1007)。次に、 $\Delta\theta$ または他の変形度を元に、成形不良現象を評価する。例えば、不均一な熱収縮によって発生した凹部発生位置を評価したいのであれば $\Delta\theta$ がマイナスの領域を表示すればよい。また、凹部発生位置において、 $\Delta\theta$ と表面パッチ長さから凹値を算出してよい。また、 $\Delta\theta$ と評価領域を定めて、表面粗さを評価してもよい。また、 $\Delta\theta$ を曲率に変換してもよい。また、もしユーザーが要望する変形度のしきい値があれば、そのしきい値を満足しない箇所を成形不良発生箇所として知らせる。また、最も大きい変形度の位置を、わかりやすいように矢印で示しても良い。

(ステップ1008)

もし、 $\Delta\theta$ や他の変形度から、成形不良現象が発生していると判断される場合は、射出成形条件を変更する(ステップ1009)。また、表示結果に満足であれば、その射出成形条件に基づいて射出成形を行い、射出成形品を製造する。(ステップ1010)。

【0032】ここで、ステップ1003の詳細な説明を行う。

【0033】本発明において、表面パッチとは、計算モデルにおける表面に露出した微小要素の要素面のことであり、図3のモデルを例に、表面パッチの算出方法から隣接パッチ間角度を算出するまでの、フローチャートを図4に示す。

【0034】まず、計算モデルを作成する(ステップ2001)。次に、各要素を構成している要素面(このモデルの場合であれば6面)を取り出す。そして、各要素面を構成している節点の組み合わせを抽出する(ステップ2002)。

【0035】次に、重複面を抽出する。重複面とは、例えば要素番号Aの3つ目の要素面を構成している節点の組み合わせと、要素番号Gの5つ目の要素面を構成している節点番号の組み合わせが同じであれば、その要素面を要素番号AとGが共有していることになるので、表面パッチにはならない。この2つ以上の要素に共有されている面を重複面として、選り出す(ステップ2003)。

【0036】次に、全ての要素面から、重複面を差し引いたものが表面パッチとなる(ステップ2004)。

【0037】ここで、図3のモデルでは、形状の全体が6面体要素で作成されているため、各要素の面の数は6つある。計算モデルによっては、一つのモデルに4面体要素、5面体要素、6面体要素等が組み合わされている場合もあるが、この場合は、各要素の面の数が異なるだけで、同じ方法を用いればよい。また、図3のモデルは6面体要素で作成した計算モデルであるが、計算手法に*

$$N = [N_x \quad N_y \quad N_z]$$

$$N_x = \sum_{i=1}^4 (Y_i - Y_j) (Z_i + Z_j)$$

$$N_y = \sum_{i=1}^4 (Z_i - Z_j) (X_i + X_j) \quad \text{式(1)}$$

$$N_z = \sum_{i=1}^4 (X_i - X_j) (Y_i + Y_j)$$

ここで、

$i \neq 4$ の時、 $j = i + 1$

$i = 4$ の時、 $j = 1$

次に、全ての表面パッチに対して、各表面パッチに隣接している表面パッチを調べる(ステップ3002)。次に、各表面パッチと隣接している表面パッチとの法線ベクトルがなす角度を求める。

【0042】しかし、なす角度だけでは、図6に示すような形状において、表面パッチfAとfBの法線ベクトルがなす角度と、表面パッチfCとfDの法線ベクトルがなす角度は共に90°であるが、角度だけでは凹凸に関しての違いがわからない。そのため、なす角度だけでは不十分であることがわかる。そのため、隣接パッチ間の角度に凹凸性を考慮するために、例えば山口富士夫著「コンピュータディスプレイによる図形処理工学」(日刊工業新聞社)のP220.に記載されている凸稜線か凹稜線概念を使う。この文献で記載されている凸稜線および凹稜

*よっても要素の形状が異なる。例えば境界要素法であれば、計算領域の表面部分のみを微小要素に分割すればよいので、図3のような箱形状の表面部分を板要素でモデル化する。そのとき、一つの板要素が表面パッチとなるため、ステップ2001のみでよい。

【0038】次に、ステップ1003の詳細な説明を行う。図5に法線ベクトルを用いた、隣接パッチ間角度の算出方法を示した。隣接パッチ間角度を算出方法としては、法線ベクトルを用いた方法が簡易である。

【0039】はじめに、各表面パッチの、法線ベクトルを求める(ステップ3001)。

【0040】法線ベクトルを求める方法としては、例えば、山口富士夫著「コンピュータディスプレイによる図形処理工学」(日刊工業新聞社)のP223.に記載されている方法を用いればよい。図3の計算モデルにおいては、表面パッチが4角形であるため、表面パッチの4つの頂点の座標 $(X_i, Y_i, Z_i) (1 \leq i \leq 4)$ が、表面パッチを表側から見たときに、反時計回りの順序で記述されているとき、法線ベクトルNは、式(1)で与えられる。

【0041】

【数1】

線とは、稜線を介して隣り合っている2つの表面パッチは、稜線に垂直な面で稜線を切断するとき、計算モデル側に現れる角度が180°より小さい稜線を凸稜線、180°より大きい稜線を凹稜線とあるが、本発明では法線ベクトルがなす角度を基本に考えているため、以下のように評価する。図7に凸稜線、図8に凹稜線に関して示しているが、fAとfBの法線ベクトルをNA、NBとすると、どちらか一方の面、例えば表面パッチfAに注目し、2つの法線ベクトルの外積 $NA \times NB$ と表面パッチfAにおける稜線のベクトルVA (VAの方向はfAの頂点列に従うものとする) との内積Cを考えると、式(2)となる。

【0043】

【数2】

$$C=(N_A \times N_B) \cdot V_A > 0 \text{ (凸稜線)}$$

$$C=(N_A \times N_B) \cdot V_A < 0 \text{ (凹稜線)} \quad \text{式(2)}$$

ここで、 \cdot は内積、 \times は外積を示す。

本発明では、このCの値が0以上の場合を凸稜線、0未満の場合を凹稜線と定義する。そのため、式(1)および(2)を組み合わせて考えると、Cが0以上で、かつ2つの表面パッチの法線ベクトルがなす角度が例えば60°の時は、隣接パッチ間角度は+60°とする。同様に、Cがマイナスでかつなす角度が60°の時は隣接パッチ間角度は-60°とする。

【0044】次に、ステップ1004では、変形前計算モデルの各節点のX,Y,Z座標に、前述の射出成形シミュレーション方法により求めた変形後計算モデルの対応する各節点の変位量(DX,DY,DZ)を加えあわせて、(X+DX,Y+DY,Z+DZ)を求める。

【0045】次に、ステップ1005では、ステップ1004と同様に、変形後計算モデルにおいて、各表面パッチの法線ベクトル、隣接パッチ間角度 θ' を求める。

【0046】次に、ステップ1006では、対応する表面パッチにおいて $\Delta\theta = \theta' - \theta$ を求める。次に、ステップ1007では、 $\Delta\theta$ あるいはそれに基づいて得られる前述の他の変形度を評価し、その数値を表示する。

【0047】次に、ステップ1008では、変形度の数値により、成形不良とみなされるかどうかを判断する。次に、ステップ1009では、成形不良が発生すると予想されるために、射出成形条件を変更して変形度低減を行う。この作業を繰り返して、最適な射出成形条件を得た後、その射出成形条件で射出成形品を製造する。

【0048】なお、上記の例では3次元的な計算モデルを使用した、精度の点で劣るものの2次元的な計算モデルを用いてもよい。

【0049】

【実施例】ここでは図9に示すような3次元射出成形品への実施例について示す。まず図2のステップ1001において射出成形条件（使用材料：ABS樹脂、材料射出温度：2°C、成形型温度：50°C、材料射出時間：1sec、保圧力：50MPa、保圧時間：2sec、型内冷却時間：10sec）を入力した。つづいてステップ1002において射出成形品形状をI-DEASで作成し、図10に示すように複数の6面体微小要素に分割することによって変形前計算モデルを構築した。このようなモデルは前述の形状測定器の出力から得られた点群に基づいても作成できる。この図からわかるように、この形状は中央部に突起がある平板モデルであり、突起付け根部表面に発生する $\Delta\theta$ を評価する。次に、ステップ1003により各隣接パッチ間の角度 θ を求める。続いて、ステップ1004において、特開平8-99341号公報に記載の射

出成形シミュレーション方法により変形後計算モデルを求める。図11に得られた変形後計算モデルを示す。射出成形シミュレーションは充填工程から離型工程までを行ったが、エンジニアリングワークステーションを用いて約25分で完了した。図12にステップ1006により得られた隣接パッチ間角度差 $\Delta\theta$ を示す。この図は、等値線図を鳥瞰図として表示したものであり、得られた $\Delta\theta$ に基づいて凹値あるいは凸値で表示するときには等高線図で表示するのが好ましい。図面で実例を示すのが困難なため、本願の図面として添付することは省略するが、カラー表示のできるグラフィックス端末を利用できる場合には、等値線図や等高線図の代わりに等値面あるいは等高面につき、同一の色を用いて塗りつぶす色塗りや陰影付け、面塗りをを用いるのが好ましい。特に、成形不良範囲については、赤などの目立つ色を用いて表示するよるのがよい。得られた $\Delta\theta$ の分布において、製品中央部に発生する $\Delta\theta$ は最大0.3であった。

【0050】

【発明の効果】本発明による形状の変形度の評価方法によれば、任意形状の任意の場所に於いて、局所的に変形度が表示可能となる。

【0051】簡易に任意形状の変形度の表示が可能となるため、入手手間・測定手間による人力作業を極力なくし、評価期間を大幅に短縮しうる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態のハードウェア構成例を示す図である。

【図2】本発明に基づく射出成形品の製造方法の一例について示す図である。

【図3】表面パッチを示す図である。

【図4】表面パッチの算出方法を示すフローチャートである。

【図5】隣接パッチ間角度の算出方法を示す図である。

【図6】隣接する表面パッチの法線のなす角度と凹凸について示す図である。

【図7】凸稜線について示す図である。

【図8】凹稜線について示す図である。

【図9】本発明の一実施形態における実施例の射出成形品の形状を示す図である。

【図10】図9の射出成形品の変形前計算モデルを示す図である。

【図11】図9の射出成形品の変形後計算モデルを示す図である。（変形量は20倍に拡大）

【図12】図10および図11の変形前後の計算モデル

の隣接パッチ間角度差 $\Delta\theta$ を示す図である。

【図13】射出成形品のリブ付け根部表面に発生した凹部を示す図である。

【図14】図13の射出成形品を2次元要素で計算モデル化した図である。

【図15】図13の射出成形品を3次元要素で計算モデル化した図である。

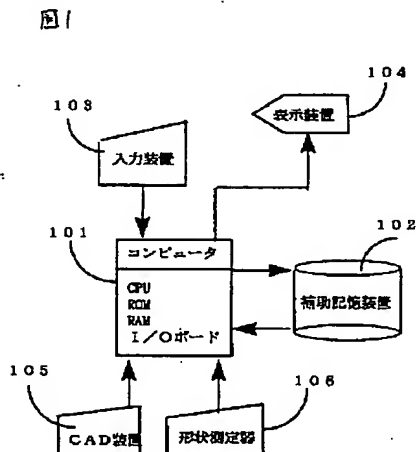
【図16】要素と節点を示す図である。

【図17】斜面や自由曲面に発生した凹部を示す図である。

【符号の説明】

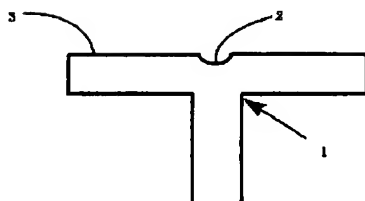
- 1：リブ付け根部
- 2：ヒケ
- 3：成形品表面
- 4：棒要素
- 5：3角形要素
- 6：4角形要素

【図1】



【図13】

図13



7：6面体要素

8：4面体要素

9：節点

10：斜面

11：自由曲面

θ ：変形前計算モデルにおける隣接パッチ間角度

θ' ：変形後計算モデルにおける隣接パッチ間角度

$\Delta\theta$ ：変形前後の隣接パッチ間角度の差分値

NA, NB, NC, ND：表面パッチの法線ベクトル

10 fA, fB, fC, fD：表面パッチ

101：コンピュータ

102：補助記憶装置

103：入力装置

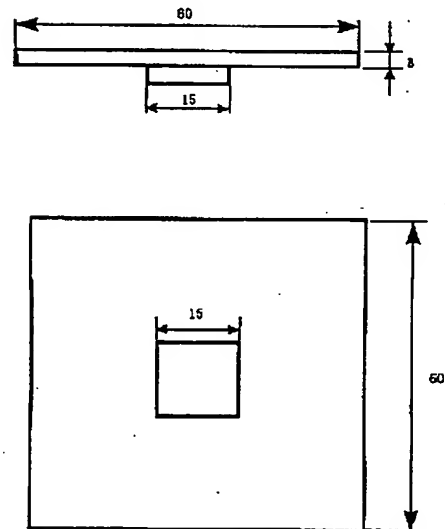
104：表示装置

105：CAD装置

106：形状測定器

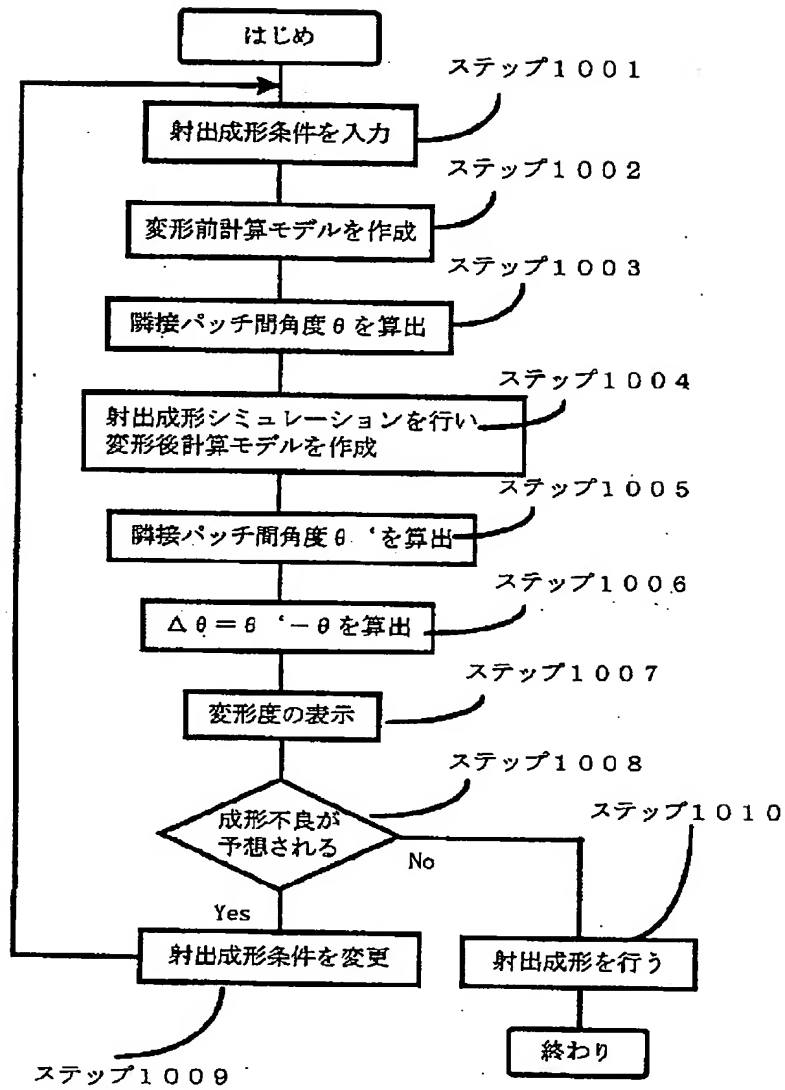
【図9】

図9



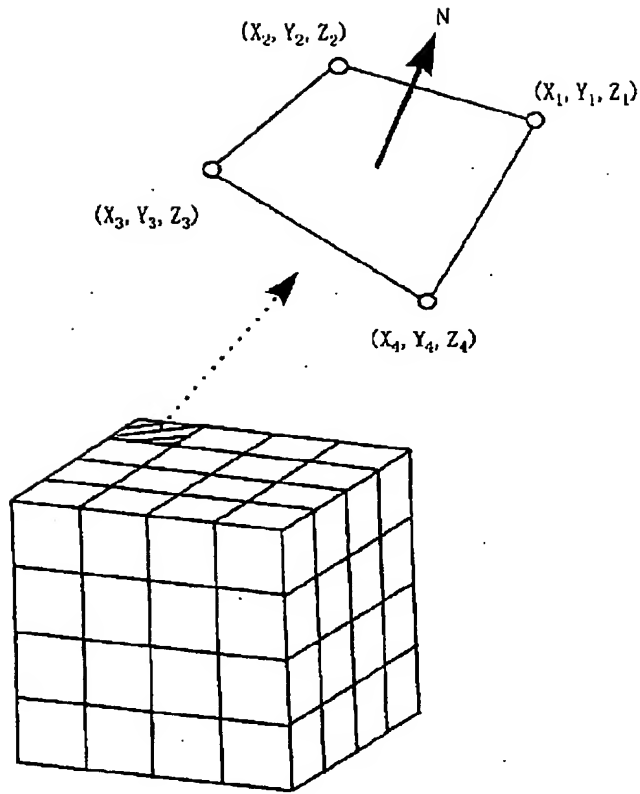
【図2】

図2



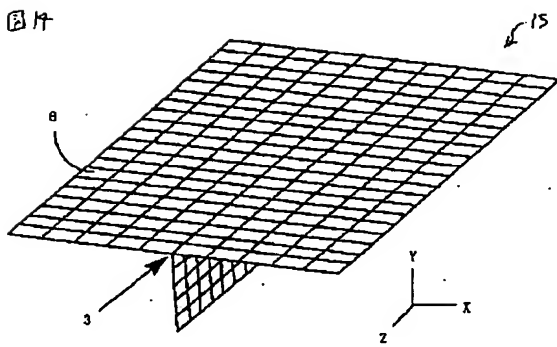
【図 3】

図 3



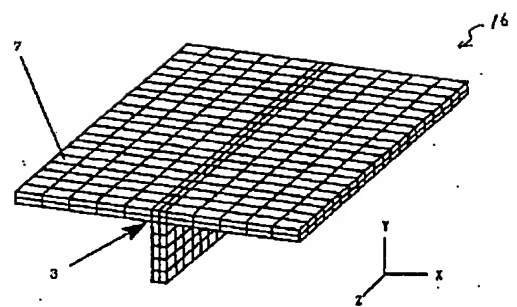
【図 14】

図 14



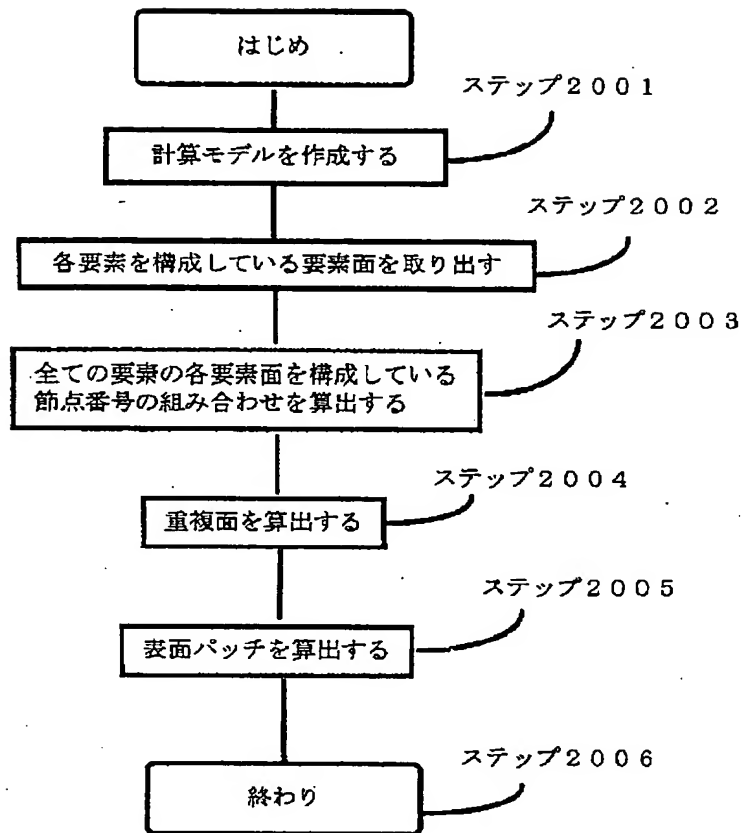
【図 15】

図 15



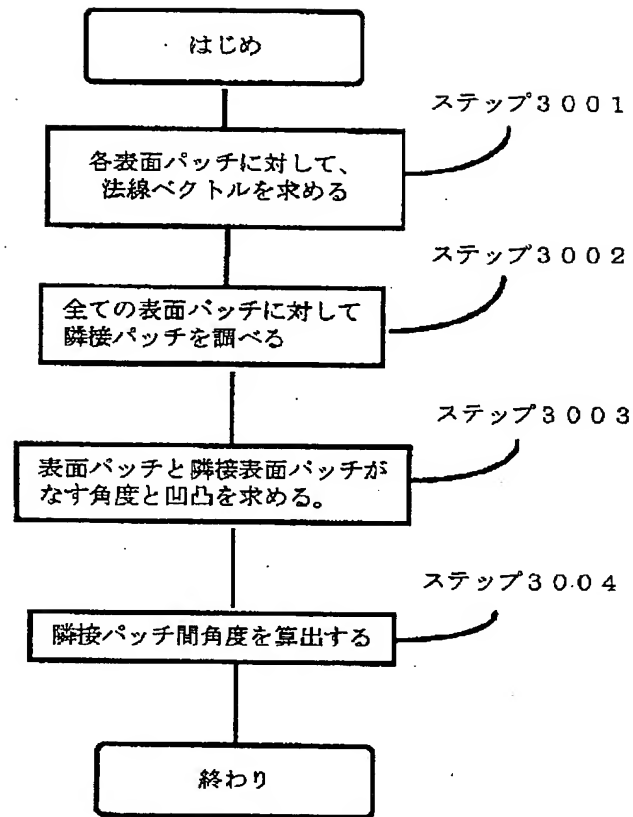
【図4】

図4



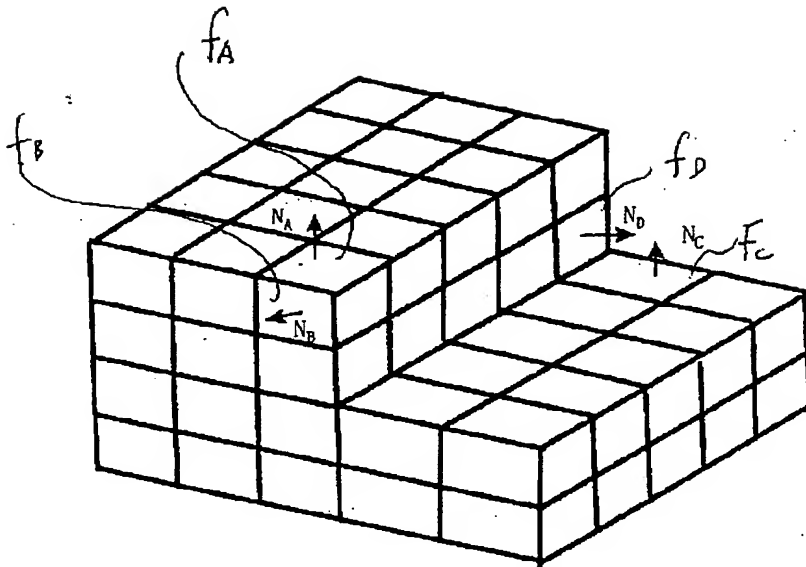
【図5】

図5



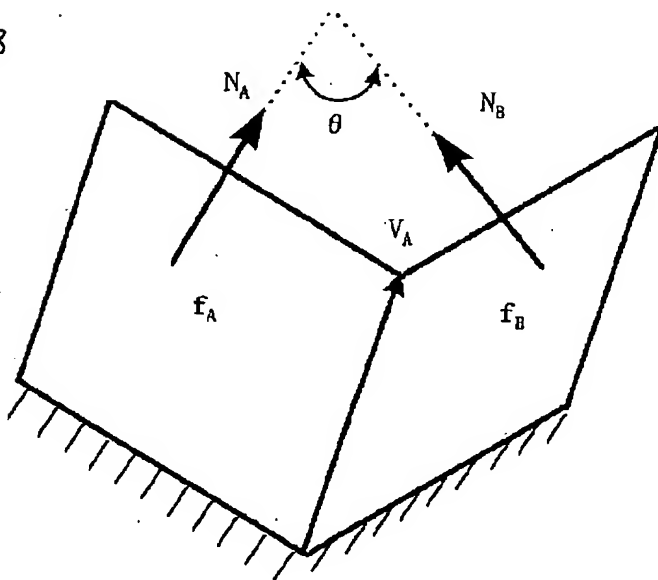
【図6】

図6



【図8】

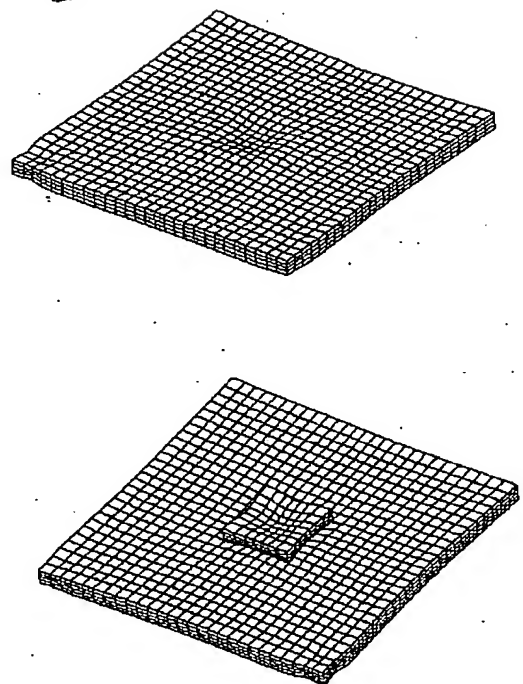
図8



$$C = (N_A \times N_B) \cdot V_A < 0 \text{ (凹稜線)}$$

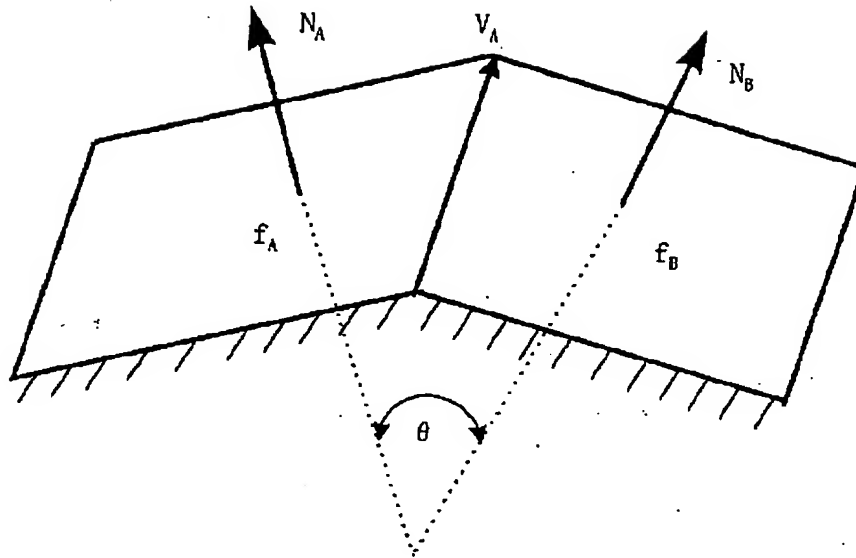
【図11】

図11



【図 7】

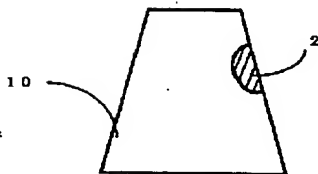
図 7



$$C = (N_A \times N_B) \cdot V_A > 0 \text{ (凸稜線)}$$

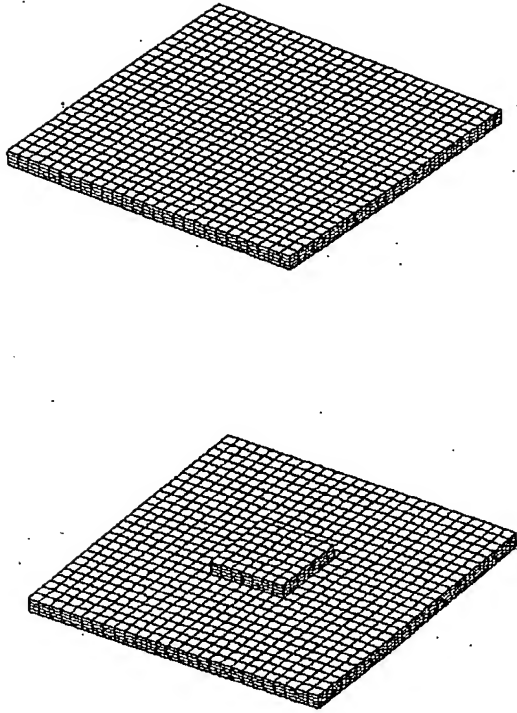
【図 17】

図 17



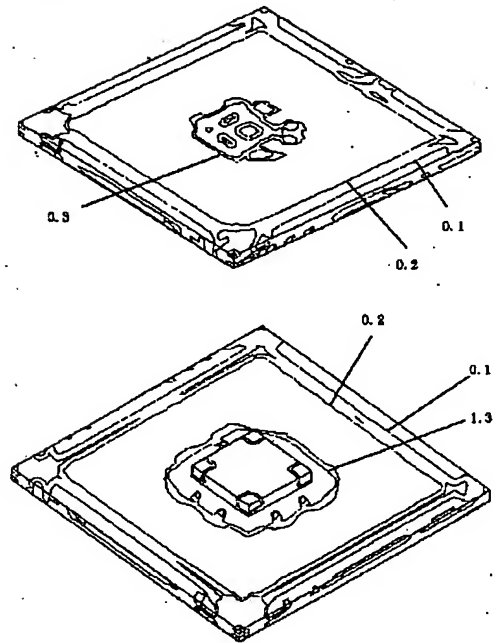
【図 10】

図 10



【図 12】

図 12



【図 16】

図 16

